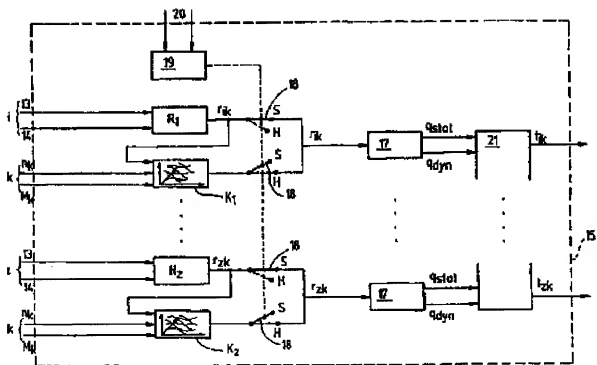


AN: PAT 2001-570886
 TI: Multi-cylinder internal combustion engine operating method involves correcting injected fuel quantity depending on injection valve static, dynamic throughput errors
 PN: WO200169066-A1
 PD: 20.09.2001
 AB: NOVELTY - The method involves injecting fuel into a combustion chamber via a high pressure injection valve during a compression or induction phase in a first or second operating mode. Cylinder equalization is conducted in the first mode. Static and dynamic throughput errors (qstat, qdyn) are derived from stored correction factors (rik) determined at several operating points and the fuel quantity to be injected is corrected depending upon them. DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following: a control element for a controller, an internal combustion engine, especially a direct injection engine, and a controller.; USE - For operating a multi-cylinder internal combustion engine. ADVANTAGE - Cylinder equalization is improved to enable correction of torque errors of individual cylinders for large and small injection quantities and in both operating modes. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a block diagram representation of a controller correction factors ri k static and dynamic throughput errors qs tat, qd yn
 PA: (BOSC) BOSCH GMBH ROBERT;
 IN: KLENK M; UHL S; NLENK M;
 FA: WO200169066-A1 20.09.2001; RU2260141-C2 10.09.2005; DE10012025-A1 18.10.2001; AU200139145-A 24.09.2001; EP1179130-A1 13.02.2002; DE10190969-T 20.06.2002; CN1364216-A 14.08.2002; JP2003527527-W 16.09.2003; MX2001011465-A1 01.09.2002; EP1179130-B1 14.04.2004; DE50101962-G 19.05.2004; MX222095-B 11.08.2004;
 CO: AE; AL; AM; AT; AU; AZ; BA; BB; BE; BG; BR; BY; CA; CH; CN; CU; CY; CZ; DE; DK; EA; EE; EF; ES; FI; FR; GB; GD; GE; GH; GM; GR; HR; HU; ID; IE; IL; IN; IS; IT; JP; KE; KG; KP; KR; KZ; LC; LI; LK; LR; LS; LT; LU; LV; MC; MD; MG; MK; MN; MW; MX; MZ; NL; NO; NZ; OA; PL; PT; RO; RU; SD; SE; SG; SI; SK; SL; SZ; TJ; TM; TR; TT; TZ; UA; UG; US; UZ; VN; WO; YU; ZA; ZW;
 DN: AE; AL; AM; AT; AU; AZ; BA; BB; BG; BR; BY; CA; CH; CN; CU; CZ; DE; DK; EE; ES; FI; GB; GD; GE; GH; GM; HR; HU; ID; IL; IN; IS; JP; KE; KG; KP; KR; KZ; LC; LK; LR; LS; LT; LU; LV; MD; MG; MK; MN; MW; MX; NO; NZ; PL; PT; RO; RU; SD; SE; SG; SI; SK; SL; TJ; TM; TR; TZ; UA; UG; US; UZ; VN; YU; ZA; ZW;
 DR: AT; BE; CH; CY; DE; DK; EA; ES; FI; FR; GB; GH; GM; GR; IE; IT; KE; LS; LU; MC; MW; MZ; NL; OA; PT; SD; SE; SL; SZ; TR; TZ; UG; ZW; AL; LI; LT; LV; MK; RO; SI;
 IC: F02D-041/02; F02D-041/04; F02D-041/14; F02D-041/30; F02D-041/32; F02D-041/34; F02D-041/36; F02D-041/38; F02D-045/00;
 MC: X22-A03A1C; X22-A03D;
 DC: Q52; X22;
 FN: 2001570886.gif
 PR: DE1012025 11.03.2000;
 FP: 20.09.2001
 UP: 20.09.2005



2003 P 7954



87

⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 12 025 A 1**

⑥ Int. Cl.⁷:
F 02 D 41/38

② Aktenzeichen: 100 12 025.3
③ Anmeldetag: 11. 3. 2000
④ Offenlegungstag: 18. 10. 2001

DE 100 12 025 A 1

⑦ **Anmelder:**
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑧ **Vertreter:**
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188 Stuttgart

⑨ **Erfinder:**
Klenk, Martin, 71522 Backnang, DE; Uhl, Stephan, 71696 Möglingen, DE

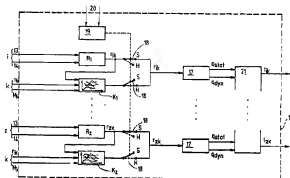
⑬ **Entgegenhaltungen:**
DE 198 28 279 A1
DE 198 12 305 A1
DE 197 20 009 A1
DE 41 22 139 A1
DE 33 36 028 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑭ **Verfahren zum Betreiben einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine**

⑮ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine (1), insbesondere einer direkt einspritzenden Brennkraftmaschine, bei dem Kraftstoff in einer ersten Betriebsart während einer Verdichtungsphase und in einer zweiten Betriebsart während einer Ansaugphase über ein Hochdruckeinspritzventil (9) in einen Brennraum (4) eingespritzt wird, und bei dem zwischen den Betriebsarten umgeschaltet wird, und die Drehmomente der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine gleichgestellt werden, wobei die Zylindergleichstellung in der ersten Betriebsart mittels eines Reglers durchgeführt wird. Um die Zylindergleichstellung einfach, schnell, effektiv und wenig rechenintensiv, durchführen zu können, wird vorgeschlagen, dass Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) zur Korrektur von zylinderindividuellen Drehmomentenfehlern ($M_{f_{ik}}$) in mehreren Betriebspunkten (k) ermittelt und gespeichert werden, aus den Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) statische Durchflussmengenfehler (q_{stat}) und dynamische Durchflussmengenfehler (q_{dyn}) des Hochdruckeinspritzventils (9) ermittelt werden und die in den Brennraum (4) einzuspritzende Kraftstoffmenge in Abhängigkeit von den ermittelten Durchflussmengenfehlern (q_{stat} , q_{dyn}) des Hochdruckeinspritzventils (9) korrigiert wird.



DE 100 12 025 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine, insbesondere einer direktinspritzenden Brennkraftmaschine, bei dem Kraftstoff in einer ersten Betriebsart während einer Verdichtungsphase und in einer zweiten Betriebsart während einer Ansaugphase über ein Hochdruckeinspritzventil in einen Brennraum eingespritzt wird, und bei dem zwischen den Betriebsarten umgeschaltet wird und die Drehmomente der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine gleichgestellt werden, wobei die Zylindergleichstellung in der ersten Betriebsart mittels eines Reglers durchgeführt wird. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Brennkraftmaschine, insbesondere eine direktinspritzende Brennkraftmaschine, mit einem Brennraum, in den Kraftstoff in einer ersten Betriebsart während einer Verdichtungsphase und in einer zweiten Betriebsart während einer Ansaugphase über ein Hochdruckeinspritzventil einspritzbar ist, mit einem Steuergerät zum Umschalten zwischen den Betriebsarten und mit einem Regler zur Zylindergleichstellung zumindest in der ersten Betriebsart. Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung auch ein Steuergerät für eine solche Brennkraftmaschine.

[0002] Derartige Systeme zur direkten Einspritzung von Kraftstoff in den Brennraum einer Brennkraftmaschine sind allgemein bekannt. Es wird dabei zwischen einem sog. Schichtbetrieb als erste Betriebsart und einem sog. Homogenbetrieb als zweite Betriebsart unterschieden. Der Schichtbetrieb wird insbesondere bei kleineren Lasten verwendet, während der Homogenbetrieb bei größeren, an der Brennkraftmaschine anliegenden Lasten zur Anwendung kommt.

[0003] Im Schichtbetrieb wird der Kraftstoff während der Verdichtungsphase der Brennkraftmaschine in den Brennraum derart eingespritzt, dass sich im Zeitpunkt der Zündung eine Kraftstoffwolke in unmittelbarer Umgebung einer Zündkerze befindet. Diese Einspritzung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. So ist es möglich, dass die eingespritzte Kraftstoffwolke sich bereits während bzw. unmittelbar nach der Einspritzung bei der Zündkerze befindet und von dieser entzündet wird. Ebenfalls ist es möglich, dass die eingespritzte Kraftstoffwolke durch eine Ladungsbewegung zu der Zündkerze geführt und dann erst entzündet wird. Bei beiden Brennverfahren liegt keine gleichmäßige Kraftstoffverteilung vor, sondern eine Schichtladung.

[0004] Der Vorteil des Schichtbetriebs liegt darin, dass mit einer sehr geringen Kraftstoffmenge die anliegenden kleineren Lasten von der Brennkraftmaschine ausgeführt werden können. Größere Lasten können allerdings nicht durch den Schichtbetrieb erfüllt werden.

[0005] In dem für derartige größere Lasten vorgesehenen Homogenbetrieb wird der Kraftstoff während der Ansaugphase der Brennkraftmaschine eingespritzt, so dass eine Verwirbelung und damit eine Verteilung des Kraftstoffs in dem Brennraum noch ohne weiteres erfolgen kann. Insoweit entspricht der Homogenbetrieb etwa der Betriebsweise von Brennkraftmaschinen, bei denen in herkömmlicher Weise Kraftstoff in das Ansaugrohr eingespritzt wird. Bei Bedarf kann auch bei kleineren Lasten der Homogenbetrieb eingesetzt werden.

[0006] Im Schichtbetrieb wird die Drosselklappe in dem zu dem Brennraum führenden Ansaugrohr weit geöffnet und die Verbrennung wird im Wesentlichen nur durch die einzuspritzende Kraftstoffmenge gesteuert und/oder geregelt. Im Homogenbetrieb wird die Drosselklappe in Abhängigkeit

von dem angeforderten Moment geöffnet bzw. geschlossen und die einzuspritzende Kraftstoffmenge wird in Abhängigkeit von der angesaugten Luftmenge gesteuert und/oder geregelt.

[0007] In beiden Betriebsarten, also im Schichtbetrieb und im Homogenbetrieb, wird die einzuspritzende Kraftstoffmenge zusätzlich in Abhängigkeit von einer Mehrzahl weiterer Betriebsgrößen auf einen im Hinblick auf Kraftstoffeinsparung, Abgasreduzierung und dgl. optimalen Wert gesteuert und/oder geregelt. Die Steuerung und/oder Regelung wird von dem Steuergerät für die Brennkraftmaschine ausgeführt und ist in den beiden Betriebsarten unterschiedlich. [0008] Der Kraftstoff wird bei direktinspritzenden Brennkraftmaschinen in der Regel über Hochdruckeinspritzventile in die Brennräume der Brennkraftmaschine eingespritzt. Aufgrund von Fertigungstoleranzen und Verschleißerscheinungen weisen die Hochdruckeinspritzventile einen unterschiedlichen Öffnungsdruck auf. Da an den Hochdruckeinspritzventilen über einen gemeinsamen Hochdruckspeicher jedoch derselbe Einspritzdruck anliegt, wird in die einzelnen Brennräume unterschiedlich viel Kraftstoff eingespritzt, was zu einem unruhigen Lauf der Brennkraftmaschine, zu erhöhten Abgasemissionen und zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch führen kann.

[0009] Um die Auswirkungen der fertigungs- und verschleißbedingten Änderungen der Durchflusscharakteristik durch die für die Kraftstoffeinspritzung verwendeten Hochdruckeinspritzventile zu kompensieren, sind aus der DE 198 28 279 Mittel zur Zylindergleichschaltung einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine bekannt. Dabei werden die Drehmomente der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine durch eine Variation der in den Brennraum einzuspritzenden Kraftstoffmenge gleichgestellt. Eine möglichst gleichmäßige Drehmomentabgabe der einzelnen Zylinder wirkt sich positiv auf die Laufruhe, die Emission und den Verbrauch der Brennkraftmaschine aus.

[0010] In der DE 198 28 279 A1 wird vorgeschlagen, jedem Zylinder ein Vorsteuerkennfeld zuzuordnen, das während des Betriebs der Brennkraftmaschine adaptiv ermittelt wird. Im Schichtbetrieb erfolgt die Zylindergleichstellung durch einen Regler, wobei das Vorsteuerkennfeld zur Entlastung des Reglers für die Zylindergleichstellung und zur Dynamikverbesserung herangezogen werden kann. Im Homogenbetrieb wird ein aus dem Vorsteuerkennfeld ermittelter Einspritzkorrekturfaktor zur Korrektur der Einspritzzeit herangezogen. Die Ausgangsgröße des Reglers ist im Homogenbetrieb zeitlich konstant, d. h. der Regler ist inaktiv und die Zylindergleichstellung erfolgt gesteuert.

[0011] Bei der DE 198 28 279 A1 erfolgt die gesteuerte Zylindergleichstellung im Homogenbetrieb jedoch ausschließlich unter Berücksichtigung des statischen Durchflussmengenfehlers, d. h. es werden nur große Einspritzzeiten ausgewertet. Die dynamischen Durchflussmengenfehler werden nicht berücksichtigt. Dadurch können zwar die Drehmomentfehler der einzelnen Zylinder bei großen Einspritzzeiten, d. h. wenn die Brennkraftmaschine ein großes Moment erzeugen muss und unter Last betrieben wird, korrigiert werden. Bei kleinen Einspritzzeiten, z. B. im Leerlauf der Brennkraftmaschine, können die Drehmomentfehler jedoch nicht ausreichend kompensiert werden und es kommt zu einem unruhigen und ungleichmäßigen Lauf der Brennkraftmaschine.

[0012] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Zylindergleichstellung dahingehend zu verbessern, dass sie sowohl bei großen als auch bei kleinen Einspritzzeiten und sowohl in der ersten Betriebsart als auch in der zweiten Betriebsart der Brennkraftmaschine die Drehmomentfehler der einzelnen Zylinder korrigieren kann.

[0013] Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung ausgehend von dem Verfahren der eingangs genannten Art vor, dass

– zur Korrektur von Drehmomentfehlern der einzelnen Zylinder notwendige Einspritzkorrekturfaktoren in mehreren Betriebspunkten ermittelt und gespeichert werden,

aus den Einspritzkorrekturfaktoren statische Durchflussmengenfehler und dynamische Durchflussmengenfehler des Hochdruckeinspritzventils ermittelt werden und

die in den Brennraum einzuspritzende Kraftstoffmenge in Abhängigkeit von den ermittelten Durchflussmengenfehlern des Hochdruckeinspritzventils korrigiert wird.

Vorteile der Erfindung

[0014] Erfindungsgemäß werden also zunächst die Einspritzkorrekturfaktoren für die einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine in mehreren Betriebspunkten erfasst. Ein Betriebspunkt wird u. a. durch die Gemischmenge und die Gemischzusammensetzung der Zylinderfüllung definiert. Nach dem Erfassen der Einspritzkorrekturfaktoren werden diese gespeichert.

[0015] Drehmomentfehler der einzelnen Zylinder haben ihre Ursache überwiegend in Fehlern, insbesondere Durchflussmengenfehlern, der Hochdruckeinspritzventile. Die Durchflussmengenfehler geben also die Drehmomentfehler der Zylinder relativ genau wieder. Die vorliegende Erfindung macht sich diesen Zusammenhang zunutze und ermittelt während des normalen Betriebs der Brennkraftmaschine im Schichtbetrieb und/oder im Homogenbetrieb die Durchflussmengenfehler der Hochdruckeinspritzventile aus den gespeicherten Einspritzkorrekturfaktoren. Zur Drehmomentanpassung der einzelnen Zylinder wird dann die in den Brennraum einzuspritzende Kraftstoffmenge in Abhängigkeit von den ermittelten Durchflussmengenfehlern des Hochdruckeinspritzventils korrigiert.

[0016] Der statische Fehler ist definiert als der sich bei voll geöffnetem Hochdruckeinspritzventil statisch einstellende Durchflussmengenfehler. Der dynamische Fehler ist definiert als der sich statisch einstellende Durchflussmengenfehler zuzüglich der Fehler, die sich beim Öffnungsvorgang und beim Schließvorgang des Hochdruckeinspritzventils dynamisch ergeben. Insbesondere der dynamische Durchflussmengenfehler eines Hochdruckeinspritzventils hat einen entscheidenden Einfluss auf die in den Brennraum eines Zylinders über das Hochdruckeinspritzventil eingespritzte Kraftstoffmenge und damit auf das von dem Zylinder abgegebene Drehmoment.

[0017] Aufgrund der Tatsache, dass erfindungsgemäß aus den gespeicherten Einspritzkorrekturfaktoren nicht nur der statische sondern auch der dynamische Durchflussmengenfehler der Hochdruckeinspritzventile der Brennkraftmaschine ermittelt und in die Korrektur der in den Brennraum einzuspritzende Kraftstoffmenge mit einbezogen wird, kann in jedem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine sowohl im Schichtbetrieb als auch im Homogenbetrieb ein ruhiger und gleichmäßiger Lauf der Brennkraftmaschine sichergestellt werden.

[0018] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Einspritzkorrekturfaktoren ausschließlich in der ersten Betriebsart, also im Schichtbetrieb, erfasst werden. Im Schichtbetrieb werden die Drehmomentfehler der einzelnen Zylinder mit

Hilfe des Reglers zur Zylindergleichstellung vollständig ausgeglichen. Es ist eine Proportionalität von Kraftstoffmenge zu dem von der Brennkraftmaschine aufzubringenden Moment gegeben. Der Reglereingriff des Reglers entspricht dem Einspritzkorrekturfaktor. Im Schichtbetrieb können die Einspritzkorrekturfaktoren also mit einer besonders hohen Genauigkeit erfasst und Drehmomentunterschiede der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine vollständig eliminiert werden.

[0019] Gemäß einer alternativen Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Einspritzkorrekturfaktoren der einzelnen Zylinder sowohl in der ersten Betriebsart als auch in der zweiten Betriebsart, also im Homogenbetrieb, erfasst werden. Anders als im Schichtbetrieb arbeitet im Homogenbetrieb die Regelung zur Zylindergleichstellung nicht, so dass keine Proportionalität zwischen Kraftstoff und Moment gewährleistet ist. Es kann jedoch ein adaptives Verfahren eingesetzt werden, durch das die Drehmomentfehler in relativ großen Schritten reduziert, vorzugsweise auf Null gesetzt, werden. Der dazu erforderliche Einspritzkorrekturfaktor wird erfasst. Durch den Einsatz des adaptiven Verfahrens, das jeweils nur die beiden am stärksten abweichenden Zylinder korrigiert, können die Drehmomentunterschiede und damit die Kraftstoffunterschiede verringert werden.

[0020] Die im Homogenbetrieb ermittelten Einspritzkorrekturfaktoren haben zwar eine geringere Genauigkeit als die im Schichtbetrieb ermittelten Einspritzkorrekturfaktoren, dafür aber aufgrund der Lambda=1-Verbrennung insbesondere mit zunehmender Alterung der Komponenten der Brennkraftmaschine eine höhere Zuverlässigkeit.

[0021] Falls jedoch ein zylinderindividueller Lambdawert zur Verfügung steht, können die Drehmomentfehler auch im Homogenbetrieb mit Hilfe des Reglers ausgeglichen werden. Anders als im Schichtbetrieb ist der Zusammenhang zwischen Kraftstoffmenge und dem von der Brennkraftmaschine aufzubringenden Moment jedoch nichtlinear.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass aus den in der ersten Betriebsart erfassten Einspritzkorrekturfaktoren und aus den in der zweiten Betriebsart erfassten Einspritzkorrekturfaktoren gemeinsame statische und dynamische Durchflussmengenfehler ermittelt und der Korrektur der in den Brennraum einzuspritzenden Kraftstoffmenge zugrunde gelegt werden. Die gemeinsamen Durchflussmengenfehler können durch beliebige Operationen aus den Einspritzkorrekturfaktoren ermittelt werden. Beispielsweise ist hier eine Mittelwertbildung, eine Gewichtung oder eine Filterung der Einspritzkorrekturfaktoren genannt.

[0023] Für die Ermittlung der gemeinsamen Durchflussmengenfehler können die Einspritzkorrekturfaktoren beliebig verarbeitet werden. So kann bspw. aus den im Schichtbetrieb und den im Homogenbetrieb ermittelten statischen Durchflussmengenfehlern ein gemeinsamer statischer Durchflussmengenfehler ermittelt werden. Ebenso kann aus den im Schichtbetrieb und im Homogenbetrieb ermittelten dynamischen Durchflussmengenfehlern ein gemeinsamer dynamischer Durchflussmengenfehler ermittelt werden. Alternativ können sowohl die statischen als auch die dynamischen Durchflussmengenfehler bei der Ermittlung des gemeinsamen statischen bzw. dynamischen Durchflussmengenfehlers herangezogen werden.

[0024] Eine weitere Möglichkeit zum Bilden der gemeinsamen Durchflussmengenfehler besteht darin, dass die im Schichtbetrieb ermittelten statischen und dynamischen Durchflussmengenfehler als gemeinsame Durchflussmengenfehler verwendet werden, falls die im Schichtbetrieb bzw. im Homogenbetrieb ermittelten Durchflussmengenfehler

ler in erster Näherung übereinstimmen. Falls die im Schichtbetrieb bzw. im Homogenbetrieb ermittelten Durchflussmengenfehler dagegen nicht übereinstimmen, werden die im Homogenbetrieb ermittelten statischen und dynamischen Durchflussmengenfehler als gemeinsame Durchflussmengenfehler verwendet. Diese führen zwar dazu, dass die Drehmomentfehler der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine wahrscheinlich nicht vollständig korrigiert werden, dafür sind sie aber zuverlässiger als die im Schichtbetrieb ermittelten Durchflussmengenfehler und deshalb vorzuziehen.

[0025] Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass als Einspritzkorrekturfaktoren die zur Korrektur der Drehmomentfehler der einzelnen Zylinder notwendigen Reglereingriffe des Reglers für die Zylindergleichstellung herangezogen werden. Das Ermitteln und Abspeichern der Einspritzkorrekturfaktoren geschieht also in einer an sich aus der DE 198 28 279 A1 bekannten Weise. Diesbezüglich wird ausdrücklich auf die DE 198 28 279 A1 Bezug genommen.

[0026] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass zur Korrektur der in den Brennraum einzuspritzenden Kraftstoffmenge die Einspritzzeit der Hochdruckeinspritzventile variiert wird. Mit den beiden für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine ermittelten Korrekturgrößen – dem statischen und dem dynamischen Durchflussmengenfehler – wird dann die über das entsprechende Hochdruckeinspritzventil einzuspritzende Kraftstoffmenge korrigiert. Mit dem statischen Durchflussmengenfehler wird jede Einspritzzeit multiplikativ und mit dem dynamischen Durchflussmengenfehler additiv verändert.

[0027] Vorteilhafterweise werden die ermittelten Einspritzkorrekturfaktoren für die Zylindergleichstellung in einem Kennfeld gespeichert. Das Kennfeld wird vorzugsweise in dem Steuergerät der Brennkraftmaschine abgelegt. Das Kennfeld wird aufgespannt einerseits von der Drehzahl der Brennkraftmaschine und andererseits von dem von der Brennkraftmaschine abgegebenen Moment. Während des Betriebs der Brennkraftmaschine kann das Steuergerät dann auf die abgelegten Einspritzkorrekturfaktoren zugreifen, die entsprechenden Durchflussmengenfehler des Hochdruckeinspritzventils ermitteln und die in den Brennraum einzuspritzende Kraftstoffmenge entsprechend korrigieren.

[0028] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass bei großen Einspritzzeiten der dem Betriebspunkt entsprechende Einspritzkorrekturfaktor als statischer Durchflussmengenfehler herangezogen wird. Der Einspritzkorrekturfaktor liefert bei größeren Einspritzzeiten einen zuverlässigen Wert für den statischen Durchflussmengenfehler, da der Einfluss des dynamischen Fehlers, d. h. der Fehler auf Grund des Öffnungs- und Schließvorganges, des Hochdruckeinspritzventils umso geringer ist, desto größer die Einspritzzeiten sind.

[0029] Ebenso wird gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass bei kleinen Einspritzzeiten der dem Betriebspunkt entsprechende Einspritzkorrekturfaktor als dynamischer Durchflussmengenfehler herangezogen wird. Je kleiner die Einspritzzeiten sind, d. h. je kürzer der Zeitraum ist, in dem das Hochdruckeinspritzventil geöffnet bzw. geschlossen wird, desto größer ist der Einfluss des dynamischen Fehlers auf den Durchflussmengenfehler des Hochdruckeinspritzventils.

[0030] Die vorliegende Erfindung ermöglicht eine Aufweitung der Fertigungstoleranzen von Hochdruckeinspritzventilen. Dies wird möglich, da das Verhalten von jedem

einzelnen Hochdruckeinspritzventil zylinderindividuell erfasst und bei der Zylindergleichstellung berücksichtigt wird. Außerdem werden erfindungsgemäß auch die dynamischen Durchflussmengenfehler der Hochdruckeinspritzventile bei der Zylindergleichstellung berücksichtigt, wodurch insbesondere bei kleinen Einspritzzeiten ein vollständige Korrektur der Drehmomentfehler der einzelnen Zylinder möglich wird.

[0031] Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Form eines Steuerelements, das für ein Steuergerät einer Brennkraftmaschine, insbesondere einer direkt einspritzenden Brennkraftmaschine, vorgesehen ist. Dabei ist auf dem Steuerelement ein Programm abgespeichert, das auf einem Rechengärt, insbesondere auf einem Mikroprozessor, des Steuergeräts ablauf-fähig und zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. In diesem Fall wird also die Erfindung durch ein auf dem Steuerelement abgespeichertes Programm realisiert, so dass diese mit dem Programm ver-sieht wie das Steuerelement in gleicher Weise die Erfindung darstellt wie das Verfahren, zu dessen Ausführung das Programm geeignet ist. Als Steuerelement kann insbesondere ein elektrisches Speichermedium zur Anwendung kommen, bspw. ein Read-Only-Memory (ROM) oder ein Flash-Memory.

[0032] Als eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von der Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass das Steuergerät

- zur Korrektur von Drehmomentfehlern der einzelnen Zylinder notwendige Einspritzkorrekturfaktoren in mehreren Betriebspunkten ermittelt und speichert,
- aus den Einspritzkorrekturfaktoren einen statischen Durchflussmengenfehler und einen dynamischen Durchflussmengenfehler des Hochdruckeinspritzventils ermittelt und
- die in den Brennraum einzuspritzende Kraftstoffmenge in Abhängigkeit von den ermittelten Durchflussmengenfehlern des Hochdruckeinspritzventils korrigiert.

[0033] Schließlich wird als eine Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung ausgehend von dem Steuergerät für eine Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass das Steuergerät

- zur Korrektur von Drehmomentfehlern der einzelnen Zylinder notwendige Einspritzkorrekturfaktoren in mehreren Betriebspunkten ermittelt und speichert,
- aus den Einspritzkorrekturfaktoren einen statischen Durchflussmengenfehler und einen dynamischen Durchflussmengenfehler des Hochdruckeinspritzventils ermittelt und
- die in den Brennraum einzuspritzende Kraftstoffmenge in Abhängigkeit von den ermittelten Durchflussmengenfehlern des Hochdruckeinspritzventils korrigiert.

[0034] Als Einspritzkorrekturfaktoren werden vorzugsweise die Reglereingriffe eines Reglers zur Zylinder-gleichstellung herangezogen.

Zeichnungen

[0035] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird im Folgenden an Hand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0036] Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer er-

findungsgemäßen Brennkraftmaschine gemäß einer bevorzugten Ausführungsform:

[0037] Fig. 2 ein weiteres schematisches Blockschaltbild der Brennkraftmaschine aus Fig. 1; und

[0038] Fig. 3 ein erfindungsgemäßes Steuergerät gemäß einer bevorzugten Ausführungsform.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0039] In Fig. 1 ist eine direkteinspritzende Brennkraftmaschine 1 eines Kraftfahrzeugs dargestellt, bei der ein Kolben 2 in einem Zylinder 3 hin- und herbewegbar ist. Die Brennkraftmaschine 1 hat z Zylinder 3. Die Zylinder 3 sind jeweils mit einem Brennräum 4 versehen, der u. a. durch den Kolben 2, ein Einlassventil 5 und ein Auslassventil 6 begrenzt ist. Mit dem Einlassventil 5 ist ein Ansaugrohr 7 und mit dem Auslassventil 6 ein Abgasrohr 8 gekoppelt.

[0040] Im Bereich des Einlassventils 5 und des Auslassventils 6 ragen ein Hochdruckeinspritzventil 9 und eine Zündkerze 10 in den Brennräum 4. Über das Hochdruckeinspritzventil 9 kann Kraftstoff in den Brennräum 4 eingespritzt werden. Mit der Zündkerze 10 kann der Kraftstoff in dem Brennräum 4 entzündet werden. Der Kraftstoff wird in einer ersten Betriebsart (Schichtbetrieb) während einer Verdichtungsphase und in einer zweiten Betriebsart (Homogenbetrieb) während einer Ansaugphase in den Brennräum 4 eingespritzt. Während des Betriebs der Brennkraftmaschine 1 kann zwischen den Betriebsarten umgeschaltet werden.

[0041] Der Kolben 2 wird durch die Verbrennung des Kraftstoffs in dem Brennräum 4 in eine Hin- und Herbewegung versetzt, die auf eine Kurbelwelle 11 (vgl. Fig. 2) übertragen wird und auf diese ein Drehmoment M_k ausübt.

[0042] Auf der Kurbelwelle 11 ist ein Gebräde 12 angeordnet, dessen Drehwinkel mittels eines Sensors 13 erfasst wird. An dem Zylinder 3 ist ein weiterer Sensor 14 angeordnet, der bspw. den oberen Totpunkt des Kolbens 2 als Grenze zwischen zwei Arbeitszyklen einer 4-Takt-Brennkraftmaschine erfasst. Die Signale der Sensoren 13 und 14 werden an ein Steuergerät 15 übermittelt, das ein Einspritzimpulssignal t_{ik} zur Ansteuerung des Hochdruckeinspritzventils 9 in einem Zylinder i ($i = 1 \dots z$) in dem Betriebspunkt k der Brennkraftmaschine 1 generiert. Ein Betriebspunkt k wird u. a. durch die Gemischmenge und die Gemischzusammensetzung der Zylinderfüllung definiert.

[0043] Das Steuergerät 15 ist in Fig. 3 im Ausschnitt dargestellt. In dem Steuergerät 15 werden in einer an sich aus der DE 198 28 279 A1 bekannten Weise durch geeignete Regler R_{ij} ($i = 1 \dots z$), bspw. PI-Regler, für jeden Zylinder i der Brennkraftmaschine 1 Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} generiert. Diesbezüglich wird ausdrücklich auf die DE 198 28 279 A1 verwiesen. An die Regler R_{ij} werden die Signale der Sensoren 13, 14 des Zylinders i geführt.

[0044] Die Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} sind die zur Korrektur von Drehmomentenfehler $M_{f,ik}$ der einzelnen Zylinder i der Brennkraftmaschine 1 notwendigen Faktoren. Die ermittelten Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} werden in einem zylinderindividuellen Kennfeld K_{ij} ($i = 1 \dots z$) betriebspunktabhängig gespeichert. Die Drehzahl n_k und das Drehmoment M_k der Brennkraftmaschine 1 werden zur Bestimmung des Betriebspunktes k an die Kennfelder K_{ij} geführt.

[0045] Die Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} der einzelnen Zylinder i werden sowohl im Schichtbetrieb als auch im Homogenbetrieb erfasst. Im Schichtbetrieb werden die Drehmomentfehler $M_{f,ik}$ der einzelnen Zylinder i mit Hilfe eines Reglers R_i vollständig ausgeglichen. Es ist eine Proportionalität von Kraftstoffmenge zu dem von der Brennkraftmaschine 1 aufgetragenen Moment M_k gegeben. Die Reg-

lereingriffe des Reglers R_i entsprechen dem Einspritzkorrekturfaktor r_{ik} . Im Schichtbetrieb können die Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} also mit einer besonders hohen Genauigkeit erfasst und Drehmomentunterschiede $M_{f,ik}$ der einzelnen Zylinder i der Brennkraftmaschine 1 vollständig eliminiert werden.

[0046] Anders als im Schichtbetrieb arbeitet die Regelung im Homogenbetrieb nicht, so dass keine Proportionalität zwischen Kraftstoff und Moment M_k gewährleistet ist. Es kann jedoch ein adaptives Verfahren eingesetzt werden, durch das die Drehmomentfehler $M_{f,ik}$ in relativ großen Schritten reduziert, vorzugsweise auf Null gesetzt, werden. Der dazu erforderliche Einspritzkorrekturfaktor r_{ik} wird erfasst. Die im Homogenbetrieb ermittelten Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} haben zwar eine geringere Genauigkeit, dafür aber aufgrund der λ -Verbreiterung eine höhere Zuverlässigkeit.

[0047] Falls jedoch ein zylinderindividueller Lambdawert zur Verfügung steht, können die Drehmomentfehler $M_{f,ik}$ auch im Homogenbetrieb bis zu einem Lambdawert von etwa 0,85 mit Hilfe des Reglers R_i ausgeglichen werden. Anders als im Schichtbetrieb ist der Zusammenhang zwischen Kraftstoffmenge und dem von der Brennkraftmaschine 1 aufgetragenen Moment M_k jedoch nichtlinear.

[0048] Anschließend werden in einem Funktionsblock 17 aus den Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} statische Durchflussmengenfehler q_{stat} und dynamische Durchflussmengenfehler q_{dyn} ermittelt. Während des Schichtbetriebs der Brennkraftmaschine 1 werden die von den Reglern R_i generierten Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} zur Ermittlung der Durchflussmengenfehler q_{stat} und q_{dyn} herangezogen. Während des Homogenbetriebs der Brennkraftmaschine 1 werden die Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} für den jeweiligen Betriebspunkt k aus den Kennfeld K_{ij} entnommen. Mittels Schalter 18 wird zwischen Schichtbetrieb (Stellung "S") und Homogenbetrieb (Stellung "H") umgeschaltet. Die Schalter 18 werden über eine Betätigungseinheit 19 des Steuergeräts 15 betätigt. Die Betätigungseinheit 19 bestimmt die aktuelle Betriebsart der Brennkraftmaschine 1 in Abhängigkeit von verschiedenen Betriebskenngrößen 20 der Brennkraftmaschine 1.

[0049] In dem Funktionsblock 17 wird erfindungsgemäß bei großen Einspritzzeiten t_{ik} der dem Betriebspunkt k entsprechende Einspritzkorrekturfaktor r_{ik} als statischer Durchflussmengenfehler q_{stat} herangezogen, da der Einfluss der dynamischen Durchflussmengenfehler q_{dyn} umso geringer ist, desto größer die Einspritzzeit t_{ik} ist, d. h. je länger der Zeitraum ist, in dem das Hochdruckeinspritzventil 9 geöffnet bzw. geschlossen wird. Bei kleinen Einspritzzeiten t_{ik} wird der dem Betriebspunkt k entsprechende Einspritzkorrekturfaktor r_{ik} als dynamischer Durchflussmengenfehler q_{dyn} herangezogen, da der Einfluss der statischen Durchflussmengenfehler q_{stat} umso geringer ist, desto kürzer die Einspritzzeiten t_{ik} sind, d. h. je kürzer der Zeitraum ist, in dem das Hochdruckeinspritzventil 9 betätigt wird.

[0050] In einer Verarbeitungseinheit 21 des Steuergeräts 15 wird dann aus den Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} der einzelnen Zylinder i die korrigierte Einspritzzeit t_{ik} für einen bestimmten Zylinder i in einem bestimmten Betriebspunkt k ermittelt. Genauer gesagt, wird mit dem statischen Durchflussmengenfehler q_{stat} jede berechnete Einspritzzeit multiplikativ korrigiert, und mit dem dynamischen Durchflussmengenfehler q_{dyn} jede Einspritzzeit additiv korrigiert. Außerdem kann in der Verarbeitungseinheit 21 auch eine Filterung oder Normierung der ermittelten Einspritzzeiten t_{ik} erfolgen.

[0051] Zusammenfassend werden also zunächst die Ein-

spritzkorrekturfaktoren r_{ik} ermittelt. Im Schichtbetrieb und im Homogenbetrieb bis zu $\lambda = 0,85$ werden die Drehmomentfehler $M_{f,ik}$ mittels des Reglers R_i auf Null geregelt. Die Reglereingriffe des Reglers R_i entsprechen den Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} . Im Schichtbetrieb besteht zwischen Kraftstoffmenge und aufgebrachtem Moment M_k ein proportionaler und im Homogenbetrieb bis $\lambda = 0,85$ ein nichtlinearer Zusammenhang. Die Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} werden in zylinderindividuellen Kennfeldern K_{ji} in dem Steuergerät 15 abgelegt.

[0052] Während des Betriebs der Brennkraftmaschine 1 werden aus den in den Kennfeldern K_{ji} für einen bestimmten Betriebspunkt k abgelesenen Einspritzkorrekturfaktoren r_{ik} statische und dynamische Durchflussmengenfehler q_{stat} , q_{dyn} ermittelt. Die in die Brennräume 4 einzuspritzende Kraftstoffmenge wird in Abhängigkeit der Durchflussmengenfehler q_{stat} , q_{dyn} korrigiert, so dass jeder Zylinder i – unabhängig davon, wie stark die einzelnen Hochdruckeinspritzventile 9 fehlerbehaftet sind – das gleiche Drehmoment M_i liefert. Dies wirkt sich positiv auf die Laufruhe, die Emission und den Verbrauch der Brennkraftmaschine 1 aus.

[0053] Die vorliegende Erfindung ermöglicht eine Aufweitung der Fertigungstoleranzen von Hochdruckeinspritzventilen 9. Dies wird dadurch möglich, dass auch die dynamischen Durchflussmengenfehler q_{dyn} bei der Korrektur der Drehmomentfehler $M_{f,ik}$ berücksichtigt werden und dass das Verhalten von jedem einzelnen Hochdruckeinspritzventil 9 der Brennkraftmaschine 1 zylinderindividuell erfasst und bei der Zylindergleichstellung berücksichtigt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer mehrzylinderigen Brennkraftmaschine (1), insbesondere einer direkt einspritzenden Brennkraftmaschine, bei dem Kraftstoff in einer ersten Betriebsart während einer Verdichtungsphase und in einer zweiten Betriebsart während einer Ausagephase über ein Hochdruckeinspritzventil (9) in einen Brennraum (4) eingespritzt wird, und bei dem zwischen den Betriebsarten umgeschaltet und die Drehmomente der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine gleichgestellt werden, wobei die Zylindergleichstellung in der ersten Betriebsart mittels eines Reglers durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

– zur Korrektur von Drehmomentfehlern ($M_{f,ik}$) der einzelnen Zylinder (i) notwendige Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) in mehreren Betriebspunkten (k) ermittelt und gespeichert werden,

– aus den Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) statische Durchflussmengenfehler (q_{stat}) und dynamische Durchflussmengenfehler (q_{dyn}) des Hochdruckeinspritzventils (9) ermittelt werden und

– die in den Brennraum (4) einzuspritzende Kraftstoffmenge in Abhängigkeit von den ermittelten Durchflussmengenfehlern (q_{stat} , q_{dyn}) des Hochdruckeinspritzventils (9) korrigiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) nur während der ersten Betriebsart erfasst werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) sowohl in der ersten Betriebsart als auch in der zweiten Betriebsart erfasst werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass aus den in der ersten Betriebsart erfassten Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) und aus den in der zweiten Betriebsart erfassten Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) gemeinsame statische und dynamische Durchflussmengenfehler (q_{stat} , q_{dyn}) ermittelt und der Korrektur der in den Brennraum (4) einzuspritzenden Kraftstoffmenge zugrunde gelegt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) die zur Korrektur der Drehmomentfehler ($M_{f,ik}$) der einzelnen Zylinder (i) notwendigen Reglereingriffe des Reglers für die Zylindergleichstellung herangezogen werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Korrektur der in den Brennraum (4) einzuspritzende Kraftstoffmenge die Einspritzzeit variiert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) in einem Kennfeld (K_{ji}) gespeichert werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass bei großen Einspritzzeiten der dem Betriebspunkt (k) entsprechende Einspritzkorrekturfaktor (r_{ik}) als statischer Durchflussmengenfehler (q_{stat}) herangezogen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei kleinen Einspritzzeiten der dem Betriebspunkt (k) entsprechende Einspritzkorrekturfaktor (r_{ik}) als dynamischer Durchflussmengenfehler (q_{dyn}) herangezogen wird.

10. Steuerelement, insbesondere Read-Only-Memory (ROM) oder Flash-Memory, für ein Steuergerät (15) einer Brennkraftmaschine (1), insbesondere einer direkt einspritzenden Brennkraftmaschine, auf dem ein Programm abgespeichert ist, das auf einem Rechengärt, insbesondere auf einem Mikroprozessor, des Steuergeräts (15) ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche geeignet ist.

11. Brennkraftmaschine (1), insbesondere direkt einspritzende Brennkraftmaschine, mit einem Brennraum (4), in den Kraftstoff in einer ersten Betriebsart während einer Verdichtungsphase und in einer zweiten Betriebsart während einer Ausagephase über ein Hochdruckeinspritzventil (9) einspritzbar ist, mit einem Steuergerät (15) zum Umschalten zwischen den Betriebsarten und mit einem Regler zur Zylindergleichstellung zumindest in der ersten Betriebsart, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Steuergerät (15)

– zur Korrektur von Drehmomentfehlern ($M_{f,ik}$) der einzelnen Zylinder (i) notwendige Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) in mehreren Betriebspunkten (k) ermittelt und speichert,

– aus den Einspritzkorrekturfaktoren (r_{ik}) einen statischen Durchflussmengenfehler (q_{stat}) und einen dynamischen Durchflussmengenfehler (q_{dyn}) des Hochdruckeinspritzventils (9) ermittelt und

– die in den Brennraum (4) einzuspritzende Kraftstoffmenge in Abhängigkeit von den ermittelten Durchflussmengenfehlern (q_{stat} , q_{dyn}) des Hochdruckeinspritzventils (9) korrigiert.

12. Steuergerät (15) für eine Brennkraftmaschine (1), insbesondere eine direkt einspritzende Brennkraftmaschine, die einen Brennraum (4), in den Kraftstoff in einer ersten Betriebsart während einer Verdichtungs-

phase und in einer zweiten Betriebsart während einer Ansaugphase über ein Hochdruckeinspritzventil (9) einspritzbar ist, und mit einem Regler zur Zylinder- gleichstellung zumindest in der ersten Betriebsart auf- weist, wobei das Steuergerät (15) zum Umschalten zwischen den Betriebsarten vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (15)

- zur Korrektur von Drehmomentfehlern (M_{f_ik}) der einzelnen Zylinder (i) notwendige Einspritzkorrekturfaktoren ($r_{_ik}$) in mehreren Be- triebspunkten (k) ermittelt und speichert,
- aus den Einspritzkorrekturfaktoren ($r_{_ik}$) einen statischen Durchflussmengenfehler ($q_{_stat}$) und einen dynamischen Durchflussmengenfehler ($q_{_dyn}$) des Hochdruckeinspritzventils (9) ermit- telt und
- die in den Brennraum (4) einzuspritzende Kraftstoffmenge in Abhängigkeit von den ermit- telten Durchflussmengenfehlern ($q_{_stat}$, $q_{_dyn}$) des Hochdruckeinspritzventils (9) korrigiert.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

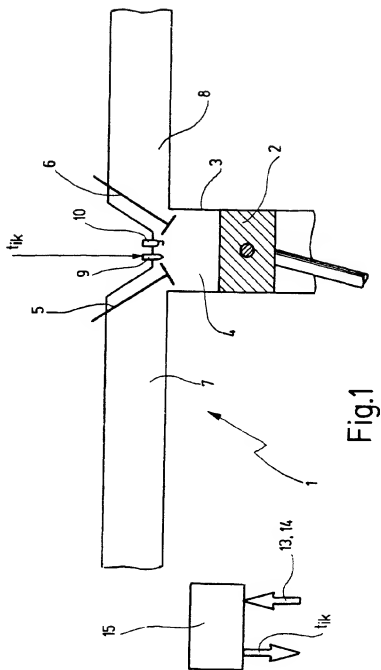
45

50

55

60

65



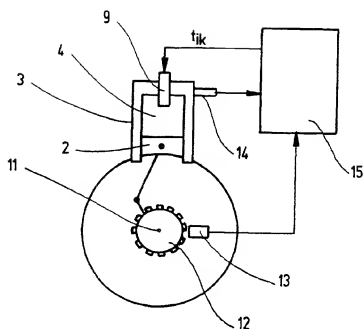


Fig.2

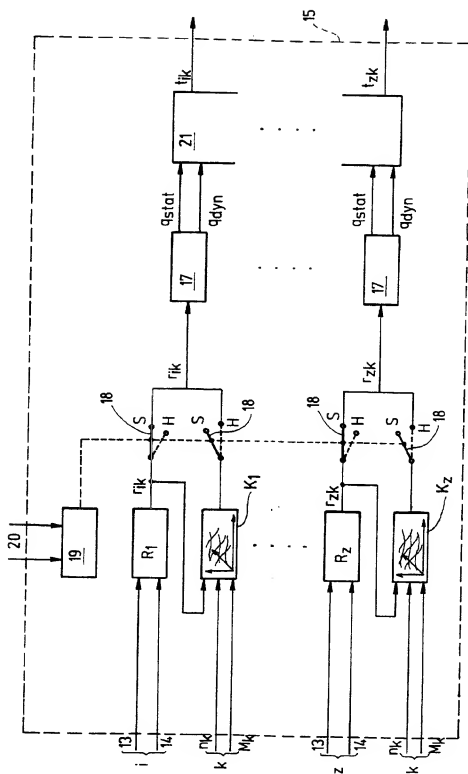


Fig.3